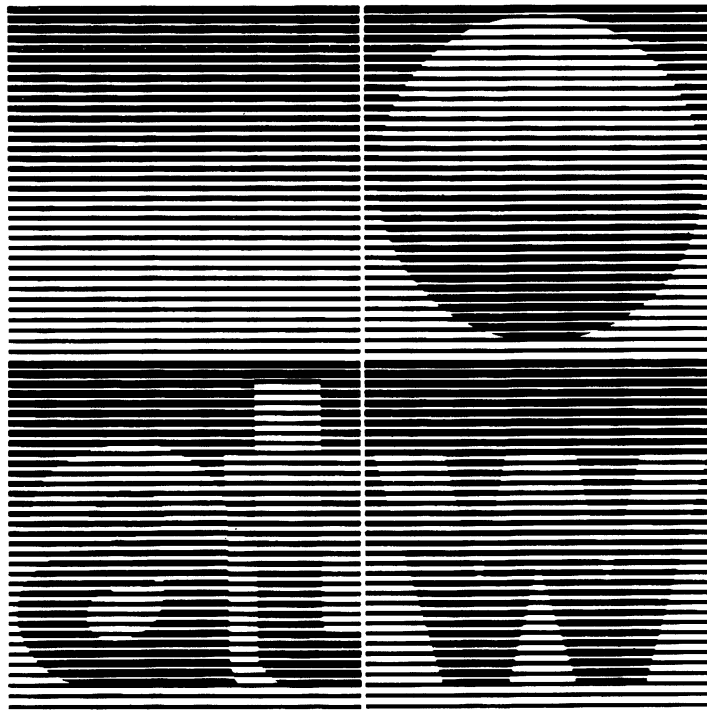


atomwirtschaft atomtechnik 3



atw-Schnellstatistik 1990

**Situation in der UdSSR nach
Tschernobyl heute**

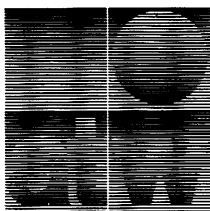
**Aktuelle Ergebnisse zu probabi-
listischen Sicherheitsanalysen**

**Großversuche zur Reaktor-
sicherheit (Projekt HDR)**

**Software zur Absicherung
der Reaktor-
sicherheit**

**Zeit als
Aufgabe**

HANDELSBLATT GMBH · POSTF. 11 02 · D-4000 DÜSSELDORF 1
48216530078451/F1386E/003/0053
BAYERISCHE STAATSBIB-
LIOTHEK ERWERBUNGS-
ABTEILUNG
LUDWIGSTR. 23
8000 MÜNCHEN 2



atomwirtschaft atomtechnik

XXXVI/3 · März 1991

Offizielles Fachblatt der Kerntechnischen Gesellschaft e.V. (KTG)

117	Leitartikel	Die Kalkarisierung des Schnellen Brütters
118	A. M. Kellerer	Zur Situation der vom Reaktorunfall betroffenen Gebiete der Sowjetunion
REAKTORSICHERHEIT		
125	W. Werner	Aktuelle Ergebnisse zu probabilistischen Sicherheitsanalysen
134	G. Katzenmeier, W. Müller-Dietsche	Großversuche am ehemaligen Kernkraftwerk HDR
138	Th. Roser	Wenn der TÜV fällig wird
139	H. W. Adams, V. Hoensch	Organisations-Software zur systematischen Absicherung der Betriebsgenehmigung
141	Tagungsbericht	Reaktorsicherheit – eine internationale Aufgabe (Bericht über das 14. GRS-Fachgespräch am 7./8. 11. 90 in Köln)
143	atw-Schnellstatistik	Kernkraftwerke 1990 – Weltübersicht
101	NACHRICHTEN DES MONATS	mit Atomenergierecht, Veranstaltungskalender, Dokumentation
A 40	Mitteilungen	der Kerntechnischen Gesellschaft e.V. (KTG)
A 44	Mitteilungen	des Deutschen Atomforums e.V. (DAtF)
A 46	Stromerzeugung	aus Kernkraftwerken im Dezember 1990
A 51	Berichte & Schriften	aus Organisationen, Unternehmen und Verlagen

Beilagenhinweis: Einem Teil dieser Ausgabe liegt eine Information der Kerntechnischen Gesellschaft e.V. (KTG), Bonn, bei.

Herausgeberbeirat

Dr.-Ing. E. h. K. Barthelt, Dr. C. Berke,
Prof. Dr. phil. Dr.-Ing. E. h. A. Birkhofer,
Prof. Dr. H. Böhm,
Prof. Dr.-Ing. R. Guck,
Dr. H.-H. Hennies,
Dr. H. Krämer, Prof. Dr. H. W. Levi,
W. D. Müller, Dr. G. Radtke,
Prof. Dr. R. Schulten, Dr. M. Simon,
Dr. W. Weinländer

Redaktion

Dipl.-Ing. Rüdiger Hossner, Chefredakteur,
Dipl.-Ing. Wolf-M. Liebholz, stellv. ChR
Redaktionssekretariat:
Gertrud Koning

Verlag

Handelsblatt GmbH

Geschäftsführung

Dr. Heik Afheldt
Klaus Dolainski
Dr. Friedrich Wehrle

Verlagsleitung

Uwe Hoch

Objektleitung

Carl Heinz Bonny

Anzeigenleitung

Marion Stern
Anzeigenverwaltung: Marlies Piotrowicz

Anschrift:

Kasernenstraße 67, Postfach 11 02, 4000 Düsseldorf 1
Tel.: (02 11) 8 87-0, Telex: 17 211 308 hblverl
Teletex: 2 11 308 HblVerl
Telefax neu: (02 11) 8 87 14 40
Redaktion: Tel. (02 11) 8 87 14 42/14 43
Anzeigen: Tel. (02 11) 8 87 14 91/14 92
Vertriebs-Service: Tel. (02 11) 8 87 17 11/17 12

Druck: L. N. Schaffrath, Graphischer Betrieb, Geldern

Einzelheft: DM 20,- + Versandkosten. Jahresabonnement: Inland DM 228,- (einschl. DM 14,92 MwSt.), Ausland DM 207,- + DM 21,- Versandkosten (Luftpostgebühren auf Anfrage). Abonnementskündigungen sind nur mit einer Frist von 21 Tagen zum Ende des berechneten Bezugszeitraumes möglich. Mitglieder der Kerntechnischen Gesellschaft e.V. erhalten die „atomwirtschaft“ im Rahmen ihres Mitgliedsbeitrags. Nachdruck und Vervielfältigungen jeder Art nur mit Genehmigung des Verlages. Für unverlangt eingesandte Manuskripte wird keine Gewähr übernommen.



Die atw erscheint monatlich.

Die Auflage wird von der IVW kontrolliert.

117	Editorial: The "Kalkarization" of the Fast Breeder
118	A. M. Kellerer · On the Situation in the Areas in the Soviet Union Affected by the Chernobyl Reactor Accident
Reactor Safety	
125	W. Werner · Current Results of Probabilistic Safety Analyses
134	G. Katzenmeier, W. Müller-Dietsche · Reactor Safety Tests in the former HDR
138	Th. Roser · An Inspector Calls (Periodic In-service Inspections in Nuclear Power Plants)
139	H. W. Adams, V. Hoensch · Organization Software for Systematically Backing the Operating Permit (System Ensuring that Permit Criteria Are Met)
141	Reactor Safety – an International Task (Report about the 14th GRS Topical Meeting in Cologne on November 7–8, 1990)
143	atw-Statistics Nuclear Power Plants 1990 – a World Survey
101	NEWS OF THE MONTH including Atomic Law, Nuclear Diary, Documentation
A 40	Proceedings of the Kerntechnische Gesellschaft e.V. (KTG)
A 44	Proceedings of the Deutsches Atomforum e.V. (DAtF)
A 46	Nuclear Electricity Generation in December 1990
A 49	Contents in Brief in English
A 51	Reports and Literature from Organizations, Industry and Publishing Companies

117	Editorial: La «Kalkarisation» du Réacteur Rapide
118	A. M. Kellerer · La situation des zones de l'Union Soviétique affectées par l'accident du réacteur de Tchernobyl
La sûreté des réacteurs	
125	W. Werner · Résultats actuels concernant des analyses de sûreté probabilistes
134	G. Katzenmeier, W. Müller-Dietsche · Expériences sur la sûreté des réacteurs faites sur l'ancien réacteur HDR
138	Th. Roser · Quand le contrôle TÜV vient à échéance (contrôles périodiques des centrales nucléaires)
139	H. W. Adams, V. Hoensch · Logiciel d'organisation servant d'appui à l'autorisation d'exploitation (système de garantie du respect des charges imposées)
141	La sûreté des réacteurs – une tâche internationale (Compte-rendu du 14 ^e colloque d'experts GRS du 07/08-11-90 à Cologne)
143	Statistiques rapides de l'atw – Les centrales nucléaires en 1990 – situation mondiale
101	NOUVELLES DU MOIS comprenant le droit atomique, le calendrier, la documentation
A 40	Informations de la Kerntechnische Gesellschaft e.V. (KTG)
A 44	Informations du Deutsches Atomforum e.V. (DAtF)
A 46	Production des centrales nucléaires en décembre 1990
A 50	Résumés en français
A 51	Rapports et traités provenant d'organisations, d'entreprises et de maisons d'édition

Zur Situation der vom Reaktorunfall betroffenen Gebiete der Sowjetunion

Von A. M. Kellerer

Der Reaktorunfall im Kernkraftwerk Tschernobyl am 26. 4. 86 markiert das folgenschwerste Ereignis in der Geschichte der friedlichen Nutzung der Kernenergie. Fünf Jahre danach sind Fachleute und die Öffentlichkeit, national und international, immer noch weit von einem lückenlosen Überblick über die radiologische Situation im engeren und weiteren Umkreis um die zerstörte Anlage entfernt. Aus zahlreichen Angaben zu Messungen, die von sowjetischer, aber auch von internationaler Seite gemacht wurden, ergeben sich zum Teil äußerst widersprüchliche, auf jeden Fall jedoch nur sehr fragmentarische Aussagen zu Teilaspekten der Katastrophe. Der folgende zusammenfassende Situationsbericht aus der Sicht des Strahlenbiologen bietet zahlreiche Anhaltspunkte zur Abschätzung der radiologischen, aber auch der psychologischen Folgen von Tschernobyl.

Fünf Jahre nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl sehen sich die drei betroffenen Republiken der Sowjetunion eskalierenden Problemen gegenüber, die in der gegenwärtigen Phase des politischen Umbruchs ein zusätzliches Element der Unsicherheit und schwer lösbare wirtschaftliche Schwierigkeiten bedingen.

Wesentliche Aspekte dieser Probleme werden im folgenden auf Grund von Beobachtungen beschrieben, die sich während einer Mission des *Internationalen Roten Kreuzes* [1] und während eines Arbeitstreffens der *WHO* [2] in den betroffenen Gebieten ergaben.

Die gescheiterte Politik der Informationssperre

Nach dem Unfall hatte man zwei Jahre lang versucht, der Bevölkerung jede dosimetrische Information vorzuenthalten, da man glaubte, sie könne nichts damit anfangen und würde nur mit Panik reagieren. Die Politik der Informationssperre mußte jedoch scheitern, da sie zu einer Reihe offensichtlicher Widersprüche führte.

In internationalen Konferenzen [3, 4, 5] waren schon bald nach dem Reaktorunfall von sowjetischen Wissenschaftlern Daten über die emittierten Aktivitäten und über ihre Verteilung sowie

über Kontaminationsgrade und Dosiswerte durch externe und interne Expositionen bekanntgegeben worden. In besonders kontaminierten Gebieten wurden aufwendige Dekontaminationsmaßnahmen durchgeführt. Dabei wurden mit unterschiedlicher dosimetrischer Überwachung etwa 600 000 „Liquidatoren“ eingesetzt, die aus allen Republiken der Sowjetunion kamen und ihre Aufgabe größtenteils im Rahmen des Wehrdienstes leisteten. Das sowjetische Amt für Hydrologie und Meteorologie führte Kontaminationsmessungen zum Teil durch Flugzeuge und Hubschrauber, zum anderen Teil durch Meßfahrzeuge und mit Geräten zur Analyse von Bodenproben durch. Stichprobenartige Messungen an Nahrungsmitteln in den drei betroffenen Republiken, Bjelorußland, Ukraine und Russische Föderation, sollten die Einhaltung der offiziell festgelegten Grenzwerte gewährleisten. Die aufwendigen und ungewohnten Maßnahmen konnten der Bevölkerung nicht verborgen bleiben; sie widerlegten alle Versicherungen, Informationen über die Kontaminations- und Dosiswerte seien nicht nötig, da die Situation unter Kontrolle stehe.

Zu einem besonders gravierenden Problem für die in den betroffenen Gebieten vorwiegend ländliche Bevölkerung wurden die Einschränkungen in der Erzeugung und Nutzung landwirtschaftlicher Produkte und die Engpässe und Sonderregelungen in der Nahrungsmittelversorgung. Noch während der Periode der Informationssperre über Kontaminationsgrade und Dosiswerte wurde der Bevölkerung in gewissen höher kontaminierten Gebieten ein zusätzlicher Geldbetrag von 30 Rubel pro Monat als Ausgleich für die erhöhten Kosten der Nahrungsmittelbeschaffung bezahlt. Es bestand offensichtliche Diskrepanz zwischen dieser im Vergleich zu den monatlichen Einkommen nicht unbedeutlichen Zusatzzahlung, die von der Bevölkerung bald *Grobowje* (Sarggeld) genannt wurde, und den Versicherungen, alle anstehenden Probleme seien gelöst. Auch führte die als willkürlich empfundene und nicht erklärte Zahlung dieser Summe in gewissen Gebieten nicht aber in angrenzenden Regionen zu öffentlicher Unruhe und zu Protesten, die bald erzwangen, daß in gewissen angrenzenden Gebieten 15 Rubel pro Monat gewährt wurden.

Die seit dem Unfall nicht abbreißenden Umsiedlungen von bisher etwa 200 000 Menschen führte zu großen Belastungen und zu ernststen sozio-ökonomischen Problemen. Zusätzliche Schwierigkeiten ergaben sich dadurch, daß einige hundert, vor allem ältere Leute in evakuierte Gebiete zurückkehrten. Dies geschah sogar in Teilen der unmittelbar nach Beginn des Unfalls geräumten und seither gesperrten Zone von 30 km Radius um den Unglücksreaktor. Von den Behörden wurde versichert, daß Kinder und Jugendliche sich nicht unter den Zurückgekehrten befänden; der Augenschein während der Mission des Internationalen Roten Kreuzes [1] bestätigte diese Feststellung. Die zurückgekehrten älteren Leute leiden unter Mangel an Versorgung und insbesondere medizinischer und psychologischer Betreuung. Noch schwierigere Situationen entstanden dadurch, daß durch die Evakuierung von Dörfern die Infrastruktur und die Versorgungsbasis benachbarter Ansiedlungen, die nicht evakuiert worden waren, verlorenging, und so auch diese Ansiedlungen in Bedrängnis gerieten und schließlich zerfielen.

Die vielen nur allzu deutlichen Widersprüchlichkeiten verdeutlichten schon bald die Unhaltbarkeit der verfehlten Informationspolitik. Es dauerte jedoch fast zwei Jahre, bis im März 1988 der öffentliche Druck in Bjelorußland so groß wurde, daß die dortigen Politiker von der Zentralregierung in Moskau immer dringender zusätzliche Hilfe und bessere Aufklärung forderten. Als entsprechende Maßnahmen nicht oder nur unzureichend erfolgten, wurde zunächst in Bjelorußland die Informationssperre aufgehoben; seither werden dort, aber auch in den beiden anderen Republiken, Kontaminationswerte und dosimetrische Messungen in Zeitungen und Fernsehen sowie in Rotkreuz-Stationen und in Schulen veröffentlicht. Diese Freigabe der Information war überfällig und notwendig, geschah aber so spät, daß sie das Klima des Mißtrauens nicht mehr beseitigen konnte.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. A. M. Kellerer, Strahlenbiologisches Institut der Ludwig-Maximilians-Universität, München, und Institut für Strahlenbiologie der GSF, Zentrum für Umwelt und Gesundheit, Ingolstädter Landstraße 1, D-8042 Neuherberg.

Zwei Jahre offener Informationspolitik hätten zu einer gewissen Beruhigung der Lage beitragen können. Jedoch ist Glasnost allein unzureichend, wenn Informationen nur von den Fachleuten beurteilt werden und dann die Schlußfolgerungen unerklärt der Bevölkerung verkündet werden. Gerade dies jedoch war der Fall und es scheint auch weiterhin so zu bleiben.

Kontaminationsgrade, administrative Regelungen und Folgen der Versäumnisse

Die offiziellen Maßnahmen und Regelungen bezüglich der kontaminierten Gebiete stützten sich auf einige Grundprinzipien, die im folgenden erörtert werden sollen. Das Problem des Radiojods und der anfänglichen Belastung der Schilddrüse wird zunächst ausgeklammert, da es mit der Frage der fortdauernden Kontamination und mit der Entscheidung über weitere Umsiedlungen und über Maßnahmen in den noch bewohnten höher kontaminierten Gebieten nicht unmittelbar zusammenhängt.

Das kritische Nuklid ist seit der Anfangsphase des Unfalls, in der das Radiojod im Vordergrund stand, Cäsium-137 mit seiner Halbwertszeit von 30 Jahren. Strontium-90 (Halbwertszeit: 28 Jahre) ist außer im Nahbereich der gesperrten 30-km-Zone um den Reaktor und in Gebieten um Gomel, weniger bedeutsam. Als reiner β -Strahler trägt es nicht zur externen Strahlenexposition bei, wegen seiner Akkumulation in pflanzlichen Nahrungsmitteln und wegen seiner Eigenschaft als „Knochensucher“ ist es jedoch ein besonders gefährliches Radionuklid. Da andererseits die vom brennenden Reaktor freigesetzten Strontiumaktivitäten weit geringer als die des Cäsiums waren und da sie über kürzere Entfernungen verteilt wurden, bleibt das Strontium ein untergeordnetes Problem. Seine Konzentrationen in den Nahrungsmitteln werden in den noch bewohnten Gebieten im Vergleich zur Kontamination mit Cäsium als weniger bedrohlich angesehen.

Auch bezüglich des als α -Strahler besonders gefährlichen Plutoniums sieht man in den noch bewohnten Gebieten keine mit der Cäsiumkontamination vergleichbaren Schwierigkeiten. Eine gewisse Ausnahme könnte jedoch das auch heute noch ungenügend geklärte Problem heißer Teilchen sein.

Die sowjetischen Behörden unterscheiden drei Zonen unterschiedlicher radioaktiver Kontamination:

I. Zone gelegentlicher Kontrollen

Gebiete mit einer Kontamination durch Cs-137 zwischen 40 und 550 kBq/m² (in der alten Einheit: 1-15 Ci/km²)

II. Zone permanenter Kontrolle

Gebiete zwischen 550 kBq/m² und 1.5 MBq/m² (15-40 Ci/km²)

III. Zone strikter Kontrolle

Gebiete mit einer Kontamination von mehr als 1,5 MBq/km² (mehr als 40 Ci/km²)

Die Zonen II und III – im folgenden als *engere Kontrollzonen* bezeichnet – sind in den Diagrammen (Abb. 1–4) für den Nahbereich der Sperrzone und für den Gesamtbereich der betroffenen Gebiete wiedergegeben. Zum Vergleich sind auch die Verteilungen für Sr-90 und Plutonium dargestellt.

In Bjelorußland erstrecken sich die engeren Kontrollzonen, d. h. die Zonen II und III, über 7000 km², in der Russischen Föderation und in der Ukraine über 2000 km² und 1000 km². In Bjelorußland befinden sich – von bereits evakuierten Gebieten abgesehen – noch 440 Ansiedlungen mit insgesamt 109 000 Einwohnern in der engeren Kontrollzone. Im Gebiet von Bryansk der Russischen Föderation sind es 112 000 Einwohner in 274 Orten, in der Ukraine 52 000 Einwohner in 73 Orten [6]. Etwa ein Drittel der insgesamt 272 000 Personen sind Kinder.

Die Zahlen ändern sich allerdings ständig, da sich einerseits die geplante und ungeplante Umsiedlung und Abwanderung fortsetzt, und da andererseits angesichts noch umstrittener dosimetrischer Daten zusätzliche Orte den engeren Kontrollzonen zugeordnet werden.

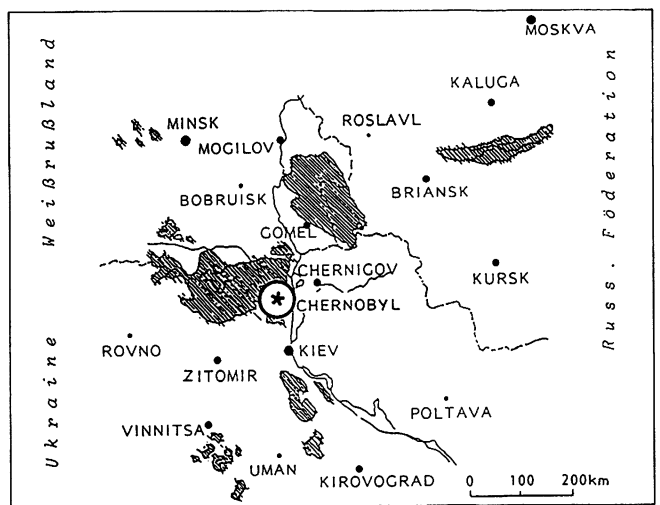


Abb. 1: Gebiete der UdSSR, die mit mehr als 0,55 MBq/m² durch Cs-137 kontaminiert wurden (engere Kontrollzone).

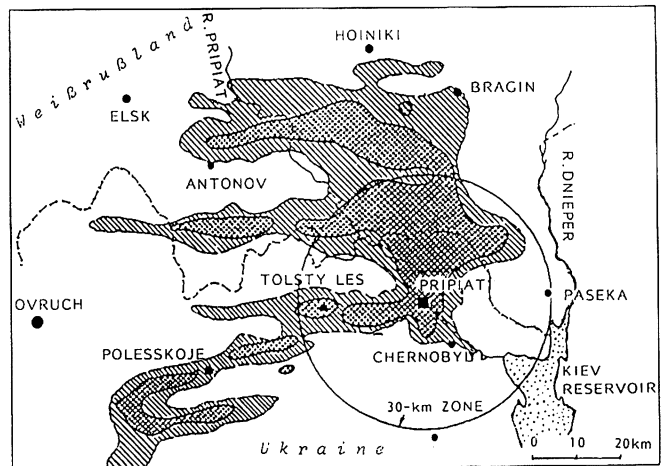


Abb. 2: Verteilung der Deposition von Cs-137 im näheren Bereich von Tschernobyl (die einfach bzw. doppelt schraffierten Bereiche entsprechen den Zonen II und III).

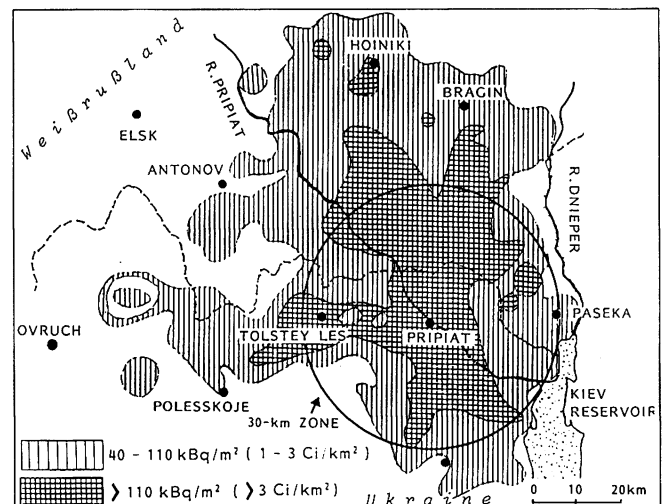


Abb. 3: Verteilung der Deposition von Sr-90 im näheren Bereich von Tschernobyl.

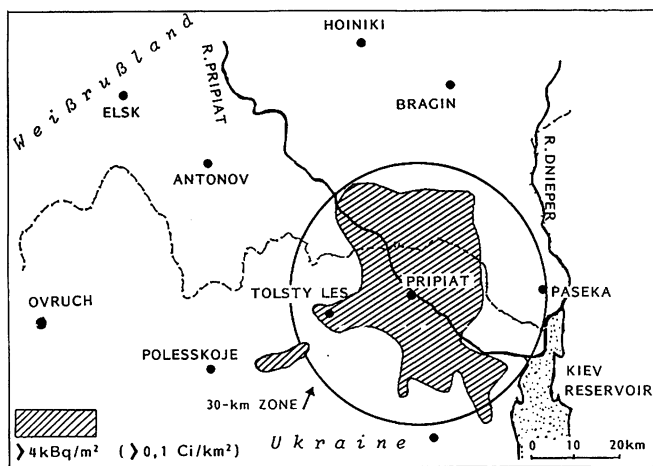


Abb. 4: Verteilung der Deposition von Plutonium im näheren Bereich von Tschernobyl.

Die Strahlenschutzkommission des Sowjetischen Gesundheitsministeriums empfahl eine Reihe von Maßnahmen, um die Strahlenexposition der Bevölkerung in den am stärksten kontaminierten Gebieten zu begrenzen. Durch Umstellungen und Einschränkungen landwirtschaftlicher Produktion, durch Verwerfen lokal erzeugter Lebensmittel und durch Dekontaminationen in Siedlungsgebieten sollte die Dosis für den einzelnen im ersten Jahr auf höchstens 100 mSv, im folgenden Jahr auf 30 mSv und dann auf 25 mSv pro Jahr begrenzt werden. Nach anfänglich 10fach höheren Werten sind die Grenzwerte für Lebensmittel inzwischen auf 370 Bq/l für Milch, auf 750 Bq/kg für Kartoffeln und Gemüse und auf etwa 2000 Bq/kg für Fleisch festgesetzt worden. Diese Grenzwerte entsprechen etwa den Werten, die nach dem Reaktorunfall auch in westeuropäischen Ländern festgesetzt wurden. Ihre Einhaltung läßt sich allerdings nur stichprobenweise kontrollieren, und läßt sich oft nur durch Mischung unterschiedlich kontaminierter Nahrungsmittel erreichen. Die meist arme Landbevölkerung ist weitgehend auf selbsterzeugte, nicht kontrollierbare Nahrungsmittel angewiesen. Schon der Mangel an Transportmitteln erzwingt die Verwendung lokal erzeugter Milch und anderer lokal erzeugter verderblicher Lebensmittel.

In einer Abschätzung bisher akkumulierter Dosen geben Wissenschaftler der Akademie der Wissenschaften der UdSSR an, daß die 272 000 Personen in den engeren Kontrollzonen bis Ende 1989 im Mittel eine Ganzkörperdosis von mehr als 50 mSv durch den Reaktorunfall erhalten haben [6].

Als Kriterium für die Umsiedlung wurde von der Nationalen Strahlenschutzkommission der Sowjetunion das Konzept einer maximalen Lebenszeitdosis von 350 mSv durch den Unfall (35-rem-Konzept) eingeführt. Berechnungen der künftig noch zu erwartenden Dosen durch externe Exposition und durch inkorporiertes Cäsium lassen eine Überschreitung des Grenzwertes für etwa 60 000 Personen in den engeren Kontrollzonen erwarten, falls der Verbrauch lokal erzeugter Nahrungsmittel künftig freigegeben wird. Durch ein aufwendiges Programm von Dekontaminationen, geänderter landwirtschaftlicher Produktion und allgemeiner Verbesserung der Lebensmittelversorgung könnte nach denselben Berechnungen [6] die kritische Gruppe auf 20 000 Personen reduziert werden.

Angesichts dieser Situation ist zunächst mit besonderer Dringlichkeit die zusätzliche Umsiedlung von einigen zehntausend Personen geplant. Die spätere Umsiedlung weit größerer Bevölkerungsgruppen ist jedoch wahrscheinlich. Die in den Zonen II und III verbleibenden Menschen erhalten nunmehr zusätzlich zur monatlichen Unterstützung von 15 bzw. 30 Rubel einen Zuschlag von 15% und 25% ihres Verdienstes. Diese Zusatzzahlungen sollen die Einschränkungen und Sonderregelungen in der Nahrungsversorgung ausgleichen.

Im allgemeinen sollte in der Zone I normales Leben ohne besondere Einschränkungen möglich sein. Jedoch gibt es Ausnahmen. Beispielsweise betrug in der ukrainischen Stadt Rovno die Deposition von Cs-137 etwa 80 kBq/m² (2 Ci/km²). Das ist nur ungefähr das Doppelte von Werten, die auch in einigen Regionen Südbayerns auftraten. Man erwartete keine Schwierigkeiten, entdeckte aber später bei Ganzkörpermessungen an Einwohnern der Stadt und der umliegenden Siedlungen unerwartet hohe inkorporierte Cäsium-Aktivitäten. Im Körper befindliche Cs-137-Aktivitäten von 40 kBq (etwa 1 µCi) oder mehr erklären sich durch sehr hohe Transferfaktoren der dortigen Böden für den Übergang von Cäsium aus dem Boden in die Pflanzen. Ein an sich wenig kontaminiertes Gebiet kann also dennoch beträchtliche Kontamination in den Nahrungsmitteln aufweisen. Besonders deutlich wurde die Problematik und Komplexität der Situation, als man im Umkreis von Rovno bei einer Minderheit der Bevölkerung noch weit höhere Cäsium-Aktivitäten fand. Die abnorm hohen Werte kommen zustande, weil Mitglieder einer konservativen Form der orthodoxen Kirche (Evangelisten) in der Gegend von Rovno besonderen Fastenregeln unterworfen sind, und sich aus diesem Grunde, aber auch wegen ihrer Bedürftigkeit und Isolation in kleinen Dörfern, weitgehend von Pilzen und Beeren ernähren. Pilze und Beeren nehmen aber, wie schon in den Jahren der atmosphärischen Atombombentests deutlich geworden war, außergewöhnlich hohe Mengen von Cäsium aus kontaminiertem Boden auf.

Die durch die unterschiedlichen Wetterbedingungen während des Unfalls verursachten starken lokalen Schwankungen der Kontamination, die verbleibenden Unsicherheiten der Dosimetrie, die Unmöglichkeit alle Nahrungsmittel zu kontrollieren und das Mißtrauen einer verängstigten und ganz unzulänglich informierten Bevölkerung machen verständlich, daß es selbst in vielen Regionen der Zone I zu wachsender Unruhe und zu kaum mehr aufzuhaltender Abwanderung kommt.

Die Expertengruppe der WHO besuchte im Juni dieses Jahres die ukrainische Stadt Korostjen, die etwa 150 km westlich von Tschernobyl liegt und nach den offiziellen Messungen lediglich mit etwa 180 kBq/m² (5 Ci/km²) Cs-137 kontaminiert wurde. In langen Diskussionen, zunächst mit äußerst kritischen und verängstigten Ärzten und dann mit einer ebenso verunsicherten Bevölkerung, wurde das Fehlen verlässlicher Erklärungen dramatisch deutlich. Ebenso deutlich wurde die Bereitwilligkeit, und sogar Begierde, mit der der Versuch eingehender Diskussionen, Nachfragen und Erklärungen begrüßt wurde. Als zentrales Problem erwiesen sich Zweifel an den offiziell angegebenen Kontaminationswerten; abweichende unabhängige Messungen stehen den Angaben des zentralen Amtes für Hydrologie und Meteorologie entgegen. Systematische Vergleichsmessungen wurden offenbar nie versucht. Auch bezüglich der Nahrungsmittel stehen sich ganz widersprüchliche Daten gegenüber. Einige Personen hatten sich auf eigene Initiative Ganzkörpermessungen am Zentrum für Strahlenmedizin in Kiew – dem nach dem Reaktorunfall eingerichteten und dem sowjetischen Gesundheitsministerium unterstellten Institut – unterzogen. Sie erhielten die Meßwerte ohne erläuternde Erklärung; die wenigen und unsystematischen Messungen konnten die Ängste und Unsicherheiten nicht vermindern.

Auch der Versuch, durch ein spezielles Projekt zur Klärung der externen Dosimetrie in Korostjen beizutragen, scheiterte. Wissenschaftler des Zentrums für Strahlenmedizin verteilten Thermolumineszenz-Dosimeter, die für einige Wochen von einigen hundert Einwohnern getragen werden sollten. Sie gaben das Projekt jedoch auf, als sie den Eindruck gewannen, ein Teil der Dosimeter sei nicht am Körper getragen, sondern an besonders kontaminierte Stellen gelegt oder etwa in Schweinemist vergraben worden. Daß eine Bevölkerung, die sich betrogen und bedroht fühlt, selbst durch Täuschung auf sich aufmerksam machen oder wenigstens Kompensationszahlungen erzwingen sollte, kann nicht allzu sehr überraschen. Jedoch steht außer Zweifel, daß die Ängste und Befürchtungen wirklich sind. Korostjen,

bekannt als Zentrum der Porzellan- und Keramikmalerei, war eine lebendige und wachsende Stadt von 73 000 Einwohnern, die mit ihrer als besonders reizvoll angesehenen Umgebung eng verwachsen war. In den vier Monaten vor dem Besuch der WHO-Delegation hatte Korostjen 10 000 Einwohner verloren und, wie eindrücklich geschildert wurde, gerade diejenigen, die für wichtige Dienstleistungen und qualifizierte Arbeiten benötigt wurden. Korostjen ist, wie vielfach erklärt wurde, nicht die einzige Stadt, die in den vom Reaktorunfall betroffenen Gebieten – wohl ohne eigentliche Notwendigkeit – zerfällt.

Radiologische Beurteilungen des 35-rem-Konzepts

Generelle Überlegungen zum Risiko kleiner Strahlendosen

Als der brennende Reaktor gelöscht werden sollte, erlitten mehr als 200 Arbeiter und Feuerwehrleute hohe Expositionen, die zu akuter Strahlenkrankheit führten. Mehr als 30 dieser Personen starben in den folgenden Tagen und Wochen. Für die Hubschrauberpiloten, die in wiederholten Einsätzen Material auf den brennenden Reaktor abwerfen und für alle 600 000 später an den Aufräumarbeiten beteiligten „Liquidatoren“ galt offiziell ein Dosisgrenzwert von 0,25 Gy. Die dosimetrische Überwachung war jedoch – wie Filmaufnahmen von der Räumung des Daches von Reaktorblock III erschreckend zeigen – summarisch und ungenügend. Hohe Dosen und Fälle akuter Strahlenkrankheit sind also auch unter den Liquidatoren nicht auszuschließen; eine nachträgliche Dosisabschätzung durch Bestimmung von Chromosomenaberrationen bei der am höchsten exponierten Gruppe steht auch heute noch aus. Auch die in der näheren Umgebung des Reaktors lebende Bevölkerung wurde exponiert, insbesondere 60 000 erst eineinhalb Tage nach Beginn des Unfalls aus der näheren Umgebung des Reaktors evakuierten Personen. Ihre Dosen, die nach vorliegenden Schätzungen 0,05 Sv bis 0,3 Sv betrugen [3, 7], waren allerdings noch zu gering, um beobachtbare Symptome oder merkliche Störungen von Organfunktionen zu verursachen. Noch weniger sind beobachtbare Symptome zu erwarten, wenn etwa eine zusätzliche Dosis von 0,35 Sv, wie es nach dem sowjetischen Umsiedlungskriterium möglich ist, über eine gesamte Lebenszeit akkumuliert wird. Als nachteilig sind Strahlenexpositionen jedoch auch dann anzusehen, wenn sie nicht zu beobachtbaren Symptomen führen. Der Grund ist, daß sie mit einer – bei kleiner Dosis allerdings geringen – Wahrscheinlichkeit zu Leukämien oder zu anderen Krebskrankungen führen können, die Jahre oder auch Jahrzehnte nach Strahlenexpositionen auftreten und sich von den spontanen Fällen nicht unterscheiden lassen. Bei einigen tausend Überlebenden der Atombombenangriffe, die im Mittel eine Dosis der Größenordnung 1 Sv erhielten, stiegen die Leukämieraten schon einige Jahre nach Bestrahlung auf das Mehrfache, während die Raten anderer Krebskrankungen sich ungefähr zehn Jahre nach Exposition etwa 50% gegenüber den normalen altersspezifischen Häufigkeiten erhöhten. Da sich selbst in einer sehr aufwendigen epidemiologischen Studie geringe Erhöhungen der Krebsraten nicht mit statistischer Sicherheit aufweisen lassen, konnten Zunahmen der Krebskrankungen bei Dosen unterhalb 0,35 Sv nicht festgestellt werden. Man geht im Strahlenschutz dennoch davon aus, daß auch kleine Dosen ionisierender Strahlen mit entsprechend geringer Wahrscheinlichkeit zusätzliche Tumorerkrankungen auslösen; dieselben Annahmen setzen sich neuerdings auch für andere gentoxische Agenzien, wie z. B. chemische Mutagene durch. Durch Extrapolation von tatsächlichen Beobachtungen bei hohen Dosen leitet man daher Risikofaktoren auch für kleinere Dosen ab. Obwohl diese Risikofaktoren hypothetisch bleiben, sind sie doch eine angemessene Grundlage für die

Abschätzung möglicher Strahlenfolgen. Nach den neuesten Schätzungen internationaler Gremien [8, 9] könnte eine Dosis von 0,35 Sv das Lebenszeitrisko für tödlich verlaufende Krebskrankungen um etwa 10% erhöhen. Wenn im Durchschnitt der Bevölkerung ungefähr 20 von 100 Personen an Krebs sterben, so könnte eine Strahlenexposition von 0,35 Sv dieses Verhältnis also auf etwa 22 von 100 Personen erhöhen. Im folgenden soll das Ausmaß eines solchen zusätzlichen Risikos unter verschiedenen Gesichtspunkten betrachtet werden.

Schwierigkeit der epidemiologischen Beobachtung

Eine um den zehnten Teil erhöhte Krebshäufigkeit wäre sicherlich als sehr nachteilig anzusehen; man kann zeigen, daß sie einem Verlust an statistischer Lebenserwartung von etwa 0,3 Jahren entspricht. Dennoch wäre eine solche Erhöhung des Krebsrisikos selbst in einer sorgfältigen Studie epidemiologisch kaum aufweisbar, da die „normalen“ Krebshäufigkeiten durch zahlreiche bekannte aber auch unbekannte Faktoren beeinflusst werden und entsprechend große Schwankungen aufweisen. Auch sind die mittleren Häufigkeiten nur in wenigen Ländern mit einiger Genauigkeit bekannt. In der Sowjetunion bestehen nur ganz ungenügende Gesundheitsstatistiken; es gibt daher keine Möglichkeit des sinnvollen Vergleichs von Krebsarten nach dem Reaktorunfall mit früheren Daten.

Statistisch eher aufzeigbar könnte eine mögliche Erhöhung der vorherrschenden Leukämieraten sein. Ein Grund ist, daß strahleninduzierte Leukämieerkrankungen – im Unterschied zu soliden Tumoren – schon wenige Jahre nach Strahlenexposition auftreten und daher epidemiologisch leichter erkennbar sind. Ein weiterer Grund ist, daß bei gegebener Strahlendosis die Erhöhungen ausgeprägter gegenüber den „Normalraten“ sind. Im Durchschnitt über alle Altersstufen könnte eine Exposition von 0,35 Sv die vorherrschenden Leukämieraten um etwa 50% erhöhen [8, 9]. In 10 000 so exponierten Personen könnten statt einer normalerweise zu erwartenden Anzahl von 40 Leukämien 60 Fälle auftreten. Besonders deutlich könnte eine Erhöhung der Leukämieraten bei exponierten Kindern werden. Im statistischen Durchschnitt erkranken etwa vier von 10 000 Kindern bis zum Alter von etwa 15 Jahren an Leukämie; nach heutigen Risikoschätzungen kann bereits eine Dosis von 0,1 Sv diese Wahrscheinlichkeit verdoppeln [9, 10]. Allein wegen der im Mittel in den engeren Kontrollzonen bereits akkumulierten Dosis von 50 mSv könnten also im Laufe der nächsten 10 bis 15 Jahre statt einer an sich erwarteten Zahl von etwa 35 Leukämieerkrankungen unter den dortigen 90 000 Kindern mehr als 50 Fälle auftreten. Das Fehlen von Tumoregistern und auch von verlässlichen Mortalitätsdaten in der Sowjetunion macht es jedoch unwahrscheinlich, daß selbst eine solche Erhöhung tatsächlich erkannt und belegt wird. Eine große epidemiologische Studie an allen durch den Reaktorunfall exponierten Personen soll zwar durchgeführt werden. Jedoch sind dazu bislang wenig Fortschritte erkennbar, und es scheint wenig Bereitschaft zur Kooperation zwischen verschiedenen Institutionen und Forschergruppen zu bestehen. Wenn verlässliche statistische Daten fehlen und nicht einmal erwartet werden können, so ist es verständlich, daß intuitive Urteile vorherrschen, und daß – selbst außerhalb der stärker kontaminierten Zonen – jedes Kind, das an Leukämie erkrankt, als Opfer der erhöhten Strahlenexposition angesehen wird. Eine wegen der fehlenden Behandlungsmöglichkeit in der Sowjetunion ohnehin besonders tragische Situation wird dadurch noch unerträglicher.

Die nunmehr entstandene Verwirrung, möglicherweise verstärkt durch Verwirrung in unseren Medien, läßt sich erkennen, wenn ein Wissenschaftler aus Kiew feststellt, in den Regionen um Gomel sterbe nun etwa jedes dritte Kind an Leukämie („Der Spiegel“ 19/1990, S. 200). Dies wäre nicht eine Verdopplung der

normalen Leukämiehäufigkeit, sondern eine tausendfache Erhöhung. Trotz ihrer Absurdität ist die Behauptung nicht untypisch für die Meinungen und Gefühle hinsichtlich der radioaktiven Kontamination und ihrer möglichen Folgen.

Die Beurteilung des 35-rem-Konzeptes muß sich orientieren an dem geschätzten zusätzlichen Risiko für Krebsmortalität von 0,02 bei der Dosis von 0,35 Sv (35 rem). Das Konzept entspricht also der Forderung, man müsse die Bevölkerung dann umsiedeln, wenn nicht mehr ausgeschlossen werden kann, daß die Krebsmortalität beim lebenslangen Verbleib im kontaminierten Gebiet um 10% des Normalwertes ansteigt. Nach dem Bericht der sowjetischen Akademie der Wissenschaften [6] erwartet man eine zusätzliche Lebenszeitdosis von 0,2 Sv in den Kontrollzonen II und III, wenn die Einschränkungen bezüglich der Kontamination von Lebensmitteln eingehalten werden. Dieser Durchschnittswert entspräche einer geschätzten zusätzlichen Krebsmortalität von 0,01 (also einer Erhöhung der Normalrate um 5%) und einem Verlust der statistischen Lebenserwartung von etwas mehr als einem Monat.

Wenn man davon ausgehen muß, daß selbst eine Erhöhung der allgemeinen Krebshäufigkeit um 10% „unsichtbar“ bliebe, und wenn selbst die prozentual stärker ins Gewicht fallenden Erhöhungen der Leukämiehäufigkeiten nur durch aufwendige epidemiologische Untersuchungen aufgezeigt werden könnten, so bedeutet das doch keineswegs, daß man die Zusatzrisiken als belanglos einstufen dürfte. Das 35-rem-Konzept kann durch solche Verharmlosung nicht begründet werden, sondern wirft schwierigere Fragen auf. Bevor auf diese Fragen eingegangen wird, ist jedoch eine Klarstellung nötig, die sich auf den kurzfristigen Aufenthalt in den kontaminierten Gebieten bezieht.

Unbedenklichkeit kurzzeitiger Aufenthalte in den kontaminierten Gebieten

Beim Aufenthalt in den engeren Kontrollzonen fällt auf, mit welcher Ungeduld Teile der Bevölkerung ihre Evakuierung erwarten. Diese Ungeduld ist angesichts der mehr als vier Jahre, die bereits vergangen sind, verständlich. Wo man sich schließlich doch für eine Umsiedlung entscheidet, gibt es wenig Rechtfertigung dafür, zusätzlich zu den großen Nachteilen der Umsiedlung auch noch vermeidbare Strahlenexpositionen hinzunehmen.

Ebenso auffallend wie die berechtigte Ungeduld einer verunsicherten Bevölkerung ist jedoch die ängstliche Sorge, die sich immer wieder auch bei denen zeigt, die sich nur kurzfristig in den kontaminierten Gebieten aufhalten. Als intuitive Reaktion ist diese Sorge verständlich, da sie der gewohnten Erfahrung entspricht, daß eine gesundheitliche Bedrohung entweder vom Organismus kompensiert werden könne oder daß sie oberhalb einer kritischen Schwelle zu unmittelbarer Bedrohung führe. Daß sich bei der erhöhten Strahlenexposition das Risiko jedoch nur durch die allmähliche Akkumulation der Dosis über Monate und Jahre erhöht, ist schwer zu vermitteln. So wird beispielsweise selbst ein kurzer Gang durch eine höher kontaminierte Zone als gefährlich angesehen, obwohl die kritische Frage allein darin besteht, ob man in einem solchen Gebiet mit hinreichender Sicherheit Jahre seines Lebens oder das ganze Leben verbringen kann.

Ähnliche Unsicherheiten bestehen bezüglich der Nahrung. Auch in den westeuropäischen Ländern wurde es den wenigsten deutlich, daß die kritische Größe die insgesamt aufgenommene Aktivität war und nicht die Aktivitätskonzentration in einem der Nahrungsmittel. Trotz gleicher Gesamtaktivität schienen 100 Gramm Pilze mit 1000 Bq/kg gefährlicher als 1 Liter Milch mit 100 Bq/kg, und wenige Gramm eines Gewürzes mit 10 000 Bq/kg wurden als ganz unakzeptabel angesehen. Daß in den betroffenen Bereichen der Sowjetunion sinnvolle Vergleiche und Bewertungen noch schwerer fallen, ist schon deshalb verständlich, weil es zu wenig verlässliche Angaben zur Kontamination der Umgebung und zur Kontamination der Nahrungsmittel gibt.

Ungefähre Anhaltspunkte können jedoch leicht angegeben werden. Im Mittel sind in den engeren Kontrollzonen die jährlichen Dosen durch externe Strahlenexposition inzwischen auf etwa 5 mSv abgefallen; das Cs-137 ist zwar nicht verschwunden, aber es ist zum Teil von den Oberflächen der Straßen weggeschwemmt worden und ist ansonsten tiefer in den Boden eingedrungen, wodurch sich die Strahlungsintensitäten verringert haben. Für Nahrungsmittel schwanken die Werte sehr stark, aber im Mittel dürfte die Dosis in den engeren Kontrollzonen nicht mehr als 1 oder 2 mSv/a betragen. Dies entspricht dauernden Aktivitäten von 30 000 bzw. 60 000 Bq Cs-137 im Körper und einer täglichen Aufnahme von etwa 300 bzw. 600 Bq mit der Nahrung.

Ein Aufenthalt von einer Woche in der engeren Kontrollzone könnte also zu einer zusätzlichen Ganzkörperexposition durch externe Bestrahlung von 0,1 mSv führen; eine ähnliche Zusatzdosis – die etwa einem Monatsbeitrag der natürlichen Strahlenexposition entspricht – würde man bei einem Flug von Frankfurt nach Tokio erhalten. Als einmalige Dosis ist diese Strahlenexposition völlig unbedeutend.

Die Abschätzung der Dosis durch inkorporierte Radioaktivität ist unsicher wegen des möglichen Beitrags hochkontaminierter Nahrungsmittel, wie Pilze oder Beeren, die im sauren und nährstoffarmen Waldboden besonders große Mengen von Cäsium aufnehmen. Vermeidet man jedoch diese Nahrungsmittel und nimmt man an, daß Milch aus Molkereien bis zum Grenzwert von 370 Bq/l kontaminiert ist, so würde bei der Annahme dieser maximalen Konzentration und des täglichen Verbrauchs von einem Liter Milch mit der Aufnahme von etwa 2500 Bq in einer Woche zu rechnen sein. Diese Aktivität verursacht aber nur die geringfügige Zusatzdosis von 0,03 mSv.

Außerhalb der in der Abb. 1 angedeuteten engeren Kontrollzonen sind die Strahlenexpositionen geringer. Bei Aufenthaltsdauern von wenigen Wochen fallen dann die zusätzlichen Dosen überhaupt nicht ins Gewicht, und auch längere Aufenthaltsdauern sind vom radiologischen Standpunkt aus unbedenklich.

Gründe für und gegen das 35-rem-Konzept

Man kann durchaus argumentieren, daß die gravierenden Nachteile einer Umsiedlung mit allen Folgen der Störung eines bestehenden Gemeinschaftssystems schwerer wiegen als eine mögliche Zunahme von 5% oder sogar 10% der Krebshäufigkeit. Wenn sich auch Argumente für das 35-rem-Konzept finden lassen, so sollte dieses Konzept jedoch nicht als Selbstverständlichkeit ausgegeben werden. Insbesondere erscheint es ungerechtfertigt, daß im Bericht der sowjetischen Akademie der Wissenschaften [6] zehnmal kleinere Risikoeffizienten benutzt werden, als es dem jetzigen internationalen Konsensus entspricht [8, 9], und so der Eindruck einer tendenziösen Unterschätzung möglicher Risiken entstehen kann. Man sollte statt dessen die zwar hypothetische, aber keinesfalls auszuschließende Erhöhung der Krebshäufigkeit voll in Betracht ziehen, aber ebenso bedenken, daß durch gezielte Reduktion anderer Schadensfaktoren und durch Verbesserung der Früherkennung die anzunehmende Erhöhung der Krebsmortalität mehr als ausgeglichen werden könnte. Angesichts neuerer Feststellungen, daß durch allgemeine Umweltschäden – und gerade die Gegend um Gomel ist schwer von solchen Schäden betroffen – in den osteuropäischen Ländern die Lebenserwartung um fünf bis acht Jahre reduziert sei, wäre zu prüfen, ob nicht durch Ausgleich eines Teils dieser Schäden eine Kompensation erfolgen könnte, die ebenso effektiv, wenn nicht sogar wirkungsvoller wäre, als weitere Umsiedlungen aus den radioaktiv kontaminierten Zonen.

Das 35-rem-Konzept darf allerdings nicht allein aus radiologischen Gesichtspunkten beurteilt werden. In der gegenwärtigen Situation in den kontaminierten Gebieten scheint das Konzept unhaltbar wegen der Ängste und der Verunsicherung der Bevölkerung und selbst der Ärzteschaft und wegen des Verlustes an

Lebensqualität durch die resultierenden Einschränkungen. Es fehlt an quantitativer Information über die Kontamination der Umgebung und über die Kontamination von Nahrungsmitteln. Wo Daten angegeben werden, sind sie ungenügend überprüfbar oder ungenügend belegt. Wo die dosimetrischen Daten akzeptiert werden, bleiben sie für die Bevölkerung dennoch unerklärt und nicht beurteilbar.

Da in den kontaminierten Zonen viele landwirtschaftliche Arbeiten unterbunden werden müssen und der Verbrauch selbsterzeugter Nahrungsmittel stark eingeschränkt wurde, ergeben sich für die ländliche Bevölkerung Nachteile, die allein schon Grund genug für eine Umsiedlung sein können. Wenn eine früher eng mit der Natur verbundene Bevölkerung nunmehr glaubt, den Aufenthalt im Freien einschränken zu müssen, wenn Kinder – wie es während der Mission des Roten Kreuzes deutlich wurde – ganztägig in den Kindergärten zurückgehalten werden, um sie vor Strahlenexposition im Freien zu schützen, und wenn sie alle Mahlzeiten im Kindergarten einnehmen müssen, weil man die Nahrungsmittel in Privathaushalten für zu gefährlich hält, so entfallen die notwendigsten Voraussetzungen für normale Lebensbedingungen. Umsiedlungen müssen dann durchgeführt werden, selbst wenn sie aus radiologischen Gesichtspunkten allein nicht notwendig wären. Unter diesem Aspekt versteht man, daß Politiker in Bjelorußland und in der Ukraine das 35-rem-Konzept für unanwendbar halten und für zusätzliche Umsiedlungen aus den engeren Kontrollzonen plädieren.

Das Problem generell erhöhter Morbidität

Die Ängste und Unsicherheiten in den durch den Unfall von Tschernobyl betroffenen Gebieten der Sowjetunion äußern sich und scheinen sich zu bestätigen in einer Vielzahl gehäufte Krankheitssymptome. Eine Fülle von Krankheitsbildern, die entweder mit Strahlung überhaupt nicht assoziiert sind oder nach aller bisherigen Erfahrung nicht durch geringe Strahlendosen entstehen, werden von der Bevölkerung, aber auch von der Ärzteschaft dennoch der erhöhten Strahlenexposition zugeschrieben. Man stellte fest, daß sich bereits im Jahre 1988 die Häufigkeiten verschiedenster Erkrankungen auf das 2- bis 4fache erhöhten; Beispiele sind Bluthochdruck, Diabetes, chronische Bronchitis, Koronarerkrankungen, Nervenkrankheiten, Ulkus und chronische broncho-pulmonäre Erkrankungen. Für Kinder wird vor allem über häufige neurasthenische und anämische Erkrankungen berichtet. Immer wieder wird auf eine verlängerte Dauer der Einzelerkrankungen, auf höhere Komplikationsraten und auf eine Häufung der Fälle des Nichtansprechens auf Arzneimittel hingewiesen.

Das fast völlige Fehlen verlässlicher Gesundheitsstatistiken in den betroffenen Gebieten macht es schwer oder fast unmöglich, die Trends veränderter Morbidität zu quantifizieren. An den allgemeinen Erhöhungen ist jedoch nicht zu zweifeln. Daß es zu solchen Erhöhungen kam, ist aus verschiedenen Gründen verständlich. Die veränderten und eingeschränkten Lebens- und Ernährungsbedingungen mußten zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen vor allem auch bei Kindern führen. Ebenso ist verständlich, daß die gravierenden Angstzustände und die bis zur Verzweiflung reichenden Unsicherheiten sich in verschiedenen Krankheitsbildern äußern; in anderen Katastrophensituationen macht man entsprechende Beobachtungen. Schließlich muß immer dort, wo Gesundheitsstatistiken fehlen, die Erwartung von Schäden zu vermehrten Untersuchungen und zu vollständigeren Berichten und damit zu erhöhten Morbiditätszahlen führen. Angesichts dieser Zusammenhänge ist es verständlich, wenn in einem durch die IAEA initiierten Programm vergleichender Untersuchungen durch internationale Gruppen von Ärzten verschlechterte Gesundheitsparameter in den kontaminierten Gebieten gefunden wurden, die größten Defizite, z. B. der Blutwerte, jedoch außerhalb der engeren Kontrollzonen. Die Situation ist dort am schlimmsten, wo die Ängste und Einschränkungen eben-

so groß sind wie in den am höchsten kontaminierten Bereichen, wo aber weniger gezielte Hilfsmaßnahmen angeboten werden. Der bedeutende Einfluß der indirekten Folgen des Reaktorunfalls zeigt, daß es unbegründet und voreilig wäre, langjährige radiologische Erfahrungen aufgrund intuitiver Beurteilungen aufzugeben und relativ geringen Strahlendosen nunmehr Wirkungen zuzuschreiben, die bisher auch bei höheren Dosen nie beobachtet wurden.

Ein Sonderfall sind mögliche strahlenbedingte Schädigungen der Schilddrüse. In den ersten Wochen nach dem Reaktorunfall trug das Radiojod mit seiner kurzen Halbwertszeit von etwa acht Tagen am meisten zur Strahlenexposition bei. Da es sich nach Aufnahme mit der Nahrung vor allem in der Schilddrüse anreichert, wurde diese zum meistbelasteten Organ. Eine Blockade der Schilddrüse mit stabilem Jod wurde in der UdSSR nicht oder nur unzulänglich durchgeführt. Anweisungen, kontaminierte pflanzliche Nahrungsmittel und Milchprodukte zu meiden, wurden zu spät und in den ärmlichen ländlichen Gegenden oft überhaupt nicht befolgt. Von der sowjetischen Akademie der Wissenschaften wird geschätzt, daß in den am stärksten belasteten Gebieten etwa 150 000 Kinder im Alter bis zu sieben Jahren im Durchschnitt eine Schilddrüsendosis von 0,7 Gy erhielten [6].

Da die anfänglichen Messungen der Radiojodkontamination lückenhaft, unsicher und oft fehlerhaft waren, muß davon ausgegangen werden, daß Tausende von Kindern Dosen erhielten, die mehrere Sievert oder in Einzelfällen auch mehr als 10 Sv erreichten. Erfahrungen aus der nuklearmedizinischen Therapie mit Radiojod sprechen zwar dafür, daß weit höhere Dosen als 10 Sv notwendig sind, um die Schilddrüsenfunktion nachhaltig zu beeinflussen, jedoch beziehen sich diese Erfahrungen nicht auf Kinder. Schilddrüsenstörungen bei Kindern sind daher nicht auszuschließen. Auch auf mögliche Erhöhungen der Häufigkeit von Schilddrüsenkarzinomen wird in den kommenden Jahren und Jahrzehnten zu achten sein. Erschwert werden medizinische und epidemiologische Überwachungen jedoch dadurch, daß große Teile der betroffenen Gebiete Jodmangelregionen mit endemischer Kropfhäufigkeit sind und daß Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation zur besseren Jodversorgung der Bevölkerung in den betroffenen Gebieten bisher von den sowjetischen Behörden nicht befolgt wurden.

Da keine verlässlichen Gesundheitsstatistiken für die Zeit vor dem Unfall vorliegen, sind jetzt ermittelte Häufigkeiten von Schilddrüsenstörungen ebenso wie künftige Beobachtungen über Schilddrüsenkrebshäufigkeiten schwer zu beurteilen.

Durch die Gesundheitsministerien koordinierte Maßnahmen zur Erstellung verlässlicher Gesundheitsstatistiken sind ein Hauptpunkt der Empfehlungen der WHO [2]. Die Verbesserungen müssen sich auf einen breiten Bereich beziehen. Ein Schwerpunkt sind kindliche Tumorerkrankungen; die epidemiologischen Untersuchungen sollten koordiniert werden mit einem neuen Programm der Internationalen Agentur für Krebsforschung in Lyon [10]. Jedoch muß ganz allgemein der Versuch gemacht werden, Krebsregister einzurichten. Ähnliche Anstrengungen sind nötig im Hinblick auf Erbschäden oder pränatale Entwicklungsstörungen. Gerade über solche Schäden gibt es vielerlei widersprüchliche und nicht durch überprüfbare Zahlen belegte Berichte. Notwendig sind jedoch auch aufwendige und kontinuierlich fortzusetzende Untersuchungen der Häufigkeit allgemeiner Erkrankungen.

Nötige Hilfsmaßnahmen

Daß die technischen Bedingungen der Gesundheitsfürsorge und der Therapie unzulänglich sind, wird in allen Gebieten der Sowjetunion deutlich. Daß diese Unzulänglichkeiten sich in einer über Jahre verschärfenden Krisensituation bis ins Unerträgliche steigern, kann nicht überraschen. Verbesserungen, auch durch internationale Hilfe, sind daher dringend geboten. Die Verbesserung der medizinischen Betreuung wird ein langwieriger

ger und aufwendiger Prozeß sein. Noch bevor er Erfolge zeigen kann, sind andere dringende Maßnahmen in den vom Reaktorunfall betroffenen Gebieten nötig.

Daß Umsiedlungen aus kontaminierten Gebieten unvermeidbar waren und auch noch notwendig bleiben, steht außer Zweifel. Selbst wenn man die wirtschaftlichen und sozialen Kosten weit größerer Umsiedlungen aufrichte, würden die bestehenden Probleme durch sie allerdings nicht gelöst. Wo immer die Grenzen der Umsiedlung festgelegt wären, würden die Bewohner benachbarter Siedlungen sich fragen, warum gerade sie angrenzend an geräumte Gebiete weiterleben sollten. Verständliche Kriterien für Umsiedlungen sind daher notwendig.

Das 35-rem-Konzept oder modifizierte Konzepte, wie sie nunmehr in den betroffenen Republiken der Sowjetunion gesucht werden, sind politische Entscheidungen. Sie müssen sich auf sozialen Konsens stützen, um einen Ausweg aus den sich steigernden Schwierigkeiten zu bieten. Wissenschaftliche, medizinische und technische Experten können dazu zwar nur partiell beitragen, jedoch ist ihr Beitrag von entscheidender Bedeutung. Ängste und Verunsicherung der betroffenen Bevölkerung und gravierende Einschränkungen der Lebensbedingungen sind unvermeidbar, wenn dosimetrische Daten nicht vorhanden sind oder unerklärt bleiben und wenn mögliche Strahlenfolgen entweder verharmlost oder übertrieben werden. Der noch nicht einmal begonnene Prozeß der Kommunikation wird Jahre dauern.

Erste notwendige Schritte jedoch sind Verbesserungen der Dosimetrie und vor allem Versuche, die offiziellen Messungen der Bevölkerung zugänglich zu machen und sie überprüfbar anderen, oft widersprüchlichen Daten gegenüberzustellen.

Das *Internationale Rote Kreuz* und die *Europäische Gemeinschaft* haben begonnen, geeignete Geigerzähler mit langer Batterielebensdauer und mit leichtverständlicher Instruktion denen zur Verfügung zu stellen, die die Bevölkerung beraten müssen. Selbst diese bescheidene Maßnahme könnte den Weg zu einem Konsens zwischen Administration, technischen Experten, Ärzten, paramedizinischem Personal und der Bevölkerung ebnen. Zusätzlich sind international koordinierte Meßprogramme nötig, die auf Verbesserung der externen Dosimetrie, auf radioökologische Untersuchungen und auf Messungen der Radionuklidkonzentrationen im menschlichen Körper ausgerichtet sind.

Besondere Ängste und Befürchtungen werden durch die kontaminierten Nahrungsmittel hervorgerufen. In den meist ländlichen Gebieten ist allein schon wegen fehlender Transportkapazitäten der Verbrauch lokal erzeugter Lebensmittel unvermeidlich. Wegen der großen Schwankungen der Kontamination gerade bei diesen lokal erzeugten Lebensmitteln bleiben auch aufwendige Kontrollen, die stets nur stichprobenartige Daten liefern können, unzureichend. Sie erlauben nicht die gezielte Hilfe, die zu hohen Dosen in den am stärksten betroffenen Teilen der Bevölkerung vermeiden kann, den übrigen aber unerträgliche Einschränkungen der Lebensgewohnheiten und unbegründete Ängste erspart. Gezielte Hilfe kann nur durch regelmäßige Ganzkörperzählungen geleistet werden, die für jeden einzelnen eine Dosisabschätzung ermöglichen. Angesichts der nicht mehr zu kontrollierenden Probleme, wie sie sich am Beispiel der buchstäblich zugrundegehenden Stadt Korostjen zeigen, ist nunmehr ein umfassendes Programm strahlenhygienischer Überwachung der Bevölkerung notwendig, d. h. die regelmäßige Kontrolle aller Bewohner in den kontaminierten Gebieten, die durch kontaminierte Lebensmittel beunruhigt sind. Relativ einfache, nicht für nuklidspezifische Messungen eingerichtete Geräte können in Meßzeiten von etwa einer Minute die Aktivität von Cs-137 im Körper mit beträchtlicher Genauigkeit bestimmen; besondere Abschirmung ist dabei selbst in Gebieten mit erhöhten externen Strahlenpegeln unnötig. Ein Fahrzeug mit fünf fest eingebauten, automatisierten Geräten kann pro Tag Messungen an mehr als tausend Menschen durchführen, und daß sehr große Personenzahlen bewältigt werden können, wird für die erfolgreiche Bewältigung der Aufgabe entscheidend sein. Der Umweltminister der Bundesrepublik hat in Einklang mit einer Empfehlung der Strahlenschutzkommis-

sion zugesagt, in der UdSSR ein entsprechendes Programm durchzuführen. Wesentlicher Bestandteil des geplanten Programms müssen einfache schriftliche Erklärungen der Meßwerte mit verständlichem Bezug auf die natürliche Strahlenexposition und auf administrative Richtwerte sein. Als Anhaltspunkt dient, daß eine konstante Aktivität von 30 000 Bq Cs-137 im Körper aus einer täglichen Aufnahme von etwa 300 Bq resultiert und, nahezu unabhängig vom Alter, zu einer Dosis von etwa 1 mSv pro Jahr führt. Da die Halbwertszeit von Cäsium im Körper nur etwa 80 Tage beträgt, kann die Umstellung der Ernährungsweise nach hohen gemessenen Konzentrationen innerhalb weniger Monate eine Verbesserung bringen. Einmalige oder zweimalige Messung pro Jahr ist zur sicheren Kontrolle ausreichend. Die strahlenhygienische Überwachung der Bevölkerung kann in den kontaminierten Gebieten der Sowjetunion die Rückkehr zu normalen Lebensbedingungen erleichtern, aber sie wird nur ein erster Schritt in einer Vielzahl nötiger Maßnahmen sein.

DK 621.039.588:614.876(477)Tschernobyl

Literatur

- [1] League of Red Cross and Red Crescent Societies: Report on Assessment Mission of the Areas Affected by the Chernobyl Disaster, Geneva, February, 1990.
- [2] WHO, Regional Office for Europe (Special Project on Nuclear Accidents and Public Health): Summary Report of a Working Group on the Psychological Effects of Nuclear Accidents (Kiev, May, 1990), Copenhagen, 1990.
- [3] USSR, 1986, The Accident at Chernobyl Nuclear Power Plant and its Consequences, USSR State Committee on the Utilization of Atomic Energy, IAEA Experts Meeting, Aug. 25–29, Vienna (IAEA Translation).
- [4] Medical Aspects of the Chernobyl Accident, Proc. of an All-Union Conference Organized by the USSR Ministry of Health and the All-Union Scientific Centre of Radiation Medicine, USSR Academy of Medical Sciences, Kiev, May, 1988, IAEA-TECDOC-516, Vienna, 1989.
- [5] Conference on Fission Product Transport Processes in Reactor Accidents, Proceedings, Dubrovnik, 1989.
- [6] L. A. Ilyin, et al: Radiocontamination Patterns and Possible Health Consequences of the Accident at the Chernobyl Nuclear Power Station, J. Radiol. Prot. 10, 3–29, 1990.
- [7] Committee on the Assessment of Health Consequences in Exposed Populations: Health and Environmental Consequences of the Chernobyl Nuclear Power Plant Accident. Report to the US Dept. of Energy, 1987.
- [8] UNSCEAR: Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. Annex F.-Radiation Carcinogenesis in Man. E.88.IX.7, New York, 1988.
- [9] BEIR V Report: Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. National Academy Press, Washington, DC, 1990.
- [10] Commission of the European Communities: Feasibility of Studies on Health Effects in Western Europe due to the Reactor Accident at Chernobyl and Recommendations for Research. Report EUR 12551 EN, Brussels, 1990.